

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 938**

51 Int. Cl.:

F23C 15/00 (2006.01)

F23C 99/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.06.2011 PCT/JP2011/064757**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2012 WO12002362**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2011 E 11800826 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 2589865**

54 Título: **Método de combustión de quemador**

30 Prioridad:

29.06.2010 JP 2010147576

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

07.11.2019

73 Titular/es:

**TAIYO NIPPON SANSO CORPORATION (100.0%)
3-26, Koyama 1-chome Shinagawa-ku
Tokyo 142-8558, JP**

72 Inventor/es:

**YAMAMOTO YASUYUKI;
IINO KIMIO;
HAGIHARA YOSHIYUKI y
HANEJI TOMOYUKI**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 729 938 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de combustión de quemador

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método de combustión de quemador.

Antecedentes de la técnica

10 Actualmente, las cuestiones medioambientales globales están recibiendo cada vez más atención. Una de las tareas importantes y urgentes es la reducción de los óxidos de nitrógeno, representados por NO_x. En los métodos de reducción de NO_x, las técnicas para suprimir las emisiones de NO_x son importantes y entre ellos se incluyen la recirculación de gases de escape, la combustión ligera, la combustión rica y la combustión delgada, la combustión multietapa, y similares, las cuales son ampliamente utilizadas en los mercados industrial y de consumo. Los combustores de bajo NO_x a los que se aplica dicha técnica han fomentado la reducción de NO_x en cierta medida. Sin embargo, se han necesitado métodos más eficaces para reducir los niveles de NO_x.

20 Uno de los métodos para reducir el nivel de NO_x que se ha estudiado y desarrollado es un método que implica modificar cíclicamente el caudal de combustible o aire, o similar, que sirve como oxidante para llevar a cabo un tipo de combustión rica y pobre temporalmente controlada (en lo sucesivo denominada "combustión oscilante forzada"). Se ha propuesto este tipo de método (ver las referencias de la literatura de patentes nº 1 a nº 6).

25 En el método, el caudal de suministro de uno de entre un líquido combustible y un líquido oxidante, o ambos, el líquido combustible y el líquido oxidante, se modifica para variar la proporción de oxígeno de la llama de combustión (es decir, el valor obtenido mediante la división entre la cantidad de oxígeno suministrada y la cantidad de oxígeno teóricamente necesaria), llevando a cabo alternativamente de esta manera combustión rica en combustible y combustión pobre en combustible. Como resultado, el método consigue reducir el nivel de NO_x en el gas de combustión.

30 La referencia de la literatura de patentes nº 7 da a conocer un método para reducir el nivel de óxidos de nitrógeno, que implica utilizar la combustión oscilante, es decir, la denominada combustión oscilante forzada bajo una concentración elevada de oxígeno puro como oxidante, y también un dispositivo para llevar a cabo el método. La referencia de la literatura de patentes nº 8 da a conocer un método de combustión de quemador en el que por lo menos dos quemadores se disponen uno frente al otro en un horno de manera que se causa combustión, en el que el método comprende: modificar cíclicamente (es decir, pulsar) el caudal de un líquido combustible y el caudal de un líquido oxidante suministrados a los quemadores respectivos, de manera que se provoca que los quemadores causen combustión en un estado de oscilación cíclica, en el que, con respecto al cambio cíclico del estado de oscilación de los quemadores, se proporciona una diferencia de fase (es decir, oposición de fases) entre un cambio cíclico en un estado de oscilación de por lo menos un quemador y cambios cíclicos en los estados de oscilación de otros quemadores.

40 En general, se proporciona un horno de calentamiento y un horno de fusión con una pluralidad de quemadores. Al aplicar la combustión oscilante forzada en cada quemador, las condiciones de la combustión y los ciclos de oscilación deben controlarse apropiadamente para obtener un gran efecto de reducción del nivel de NO_x.

45 **Lista de referencias**

Literatura de patentes

- 50 Referencia nº 1 de la literatura de patentes:
patente europea nº 0 046 898.
- Referencia nº 2 de la literatura de patentes:
Patente US nº 4.846.665.
- 55 Referencia nº 3 de la literatura de patentes:
solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación nº Hei 06-213411.
- Referencia nº 4 de la literatura de patentes:
solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación nº 2000-171005.
- Referencia nº 5 de la literatura de patentes:
solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación nº 2000-1710032.
- 60 Referencia nº 6 de la literatura de patentes:
solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación nº 2001-311505.
- Referencia nº 7 de la literatura de patentes:
solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación nº Hei 05-215311.
- 65 Referencia nº 8 de la literatura de patentes:
patente US nº 5.522.721 A.

Descripción resumida de la invención**Problema técnico**

5 Sin embargo, los presentes inventores han llevado a cabo pruebas adicionales con el fin de confirmar el efecto de reducción del nivel de NO_x dado a conocer en las referencias anteriormente indicadas de la literatura de patentes y han encontrado que algunas de las referencias anteriores de la literatura de patentes muestran un efecto de reducción del nivel de NO_x; sin embargo, no presentan ningún valor en términos de utilización práctica.

10 Un objetivo que debe conseguir la presente invención es proporcionar un método y un dispositivo para la combustión de un quemador que resulte de valor práctico y que muestre un gran efecto de reducción del nivel de NO_x en comparación con la técnica anterior.

15 Solución al problema

Con el fin de resolver los problemas anteriormente indicados, los presentes inventores han llevado a cabo estudios intensivos para desarrollar un método de reducción del nivel de NO_x que resulte de valor práctico y han encontrado que por lo menos uno de entre el caudal de un líquido combustible y el caudal de un antioxidante que se suministran a los quemadores se modifica cíclicamente y, simultáneamente, la concentración de oxígeno en el líquido oxidante también se modifica cíclicamente, causando de esta manera una combustión oscilante forzada y mostrando de esta manera un gran efecto de reducción del nivel de NO_x en comparación con la técnica anterior.

25 Es decir, un primer aspecto de la presente invención proporciona un método de combustión de quemador en el que por lo menos dos quemadores se disponen uno frente al otro en un horno de manera que causan combustión, comprendiendo el método:

30 modificar cíclicamente por lo menos uno de entre un caudal de un líquido combustible y un caudal de un líquido oxidante suministrados a los quemadores respectivos, a la vez que se modifica cíclicamente la concentración de oxígeno en el líquido oxidante, modificando cíclicamente de esta manera la proporción de oxígeno obtenida mediante la división entre la cantidad de oxígeno suministrada y la cantidad de oxígeno teóricamente necesaria, de manera que se provoca que los quemadores causen combustión en un estado de oscilación cíclica, en la que: con respecto al cambio cíclico del estado de oscilación de los quemadores, se proporciona una diferencia de fases entre un cambio cíclico en un estado de oscilación de por lo menos un quemador y cambios cíclicos en los estados de oscilación de otros quemadores.

40 En el primer aspecto, preferentemente se proporciona una diferencia de fase entre un cambio cíclico de caudal del líquido combustible suministrado a cada quemador y un cambio cíclico de concentración de oxígeno y proporción de oxígeno.

En el primer aspecto, la frecuencia del cambio cíclico de proporción de oxígeno es preferentemente de 20 Hz o inferior.

45 En el primer aspecto, la frecuencia del cambio cíclico de proporción de oxígeno es preferentemente de 0,02 Hz o superior.

En el primer aspecto, resulta preferente que la diferencia entre el límite superior y el límite inferior de la proporción de oxígeno se modifique cíclicamente para ser de 0,2 o superior, y que el valor medio de la proporción de oxígeno por ciclo sea de 1,0 o superior.

50 En el primer aspecto, todos los quemadores preferentemente se sincronizan en términos de por lo menos uno de entre el cambio cíclico de proporción de oxígeno y el cambio cíclico de concentración de oxígeno, causando de esta manera combustión.

55 En el primer aspecto, la diferencia de fases del cambio cíclico entre los estados de oscilación de los quemadores dispuestos uno frente al otro es preferentemente de π .

60 En el primer aspecto, resulta preferente que, al llevar a cabo la combustión mediante la utilización de una red de quemadores que incluye uno o más quemadores, se dispongan dos o más pares de redes de quemadores en una pared lateral del horno y que la diferencia de fase del cambio cíclico del estado de oscilación del quemador que forma cada red de quemadores y el cambio cíclico del estado de oscilación del quemador que forma la otra red de quemadores dispuesta contiguamente a la red de quemadores anteriormente indicada sea de π .

65 En el primer aspecto, resulta preferente que, al llevar a cabo la combustión mediante la utilización de una red de quemadores que incluye uno o más quemadores, las paredes laterales del horno estén unas frente a otras, y se dispongan n pares de redes de quemadores en una pared lateral y la diferencia de fase entre el cambio cíclico del estado de oscilación del quemador que forma cada red de quemadores y el cambio cíclico en el estado de oscilación

del quemador que forma otra red de quemadores dispuesta contiguamente a la red de quemadores anterior sea de $2\pi/n$.

5 En el primer aspecto, se proporciona preferentemente una diferencia de fase entre el cambio cíclico del estado de oscilación de por lo menos un quemador y el cambio cíclico del estado de oscilación de otro quemador, manteniendo de esta manera una presión constante dentro del horno.

10 Un segundo aspecto de la presente invención proporciona un dispositivo de combustión de un quemador en el que se disponen por lo menos dos quemadores uno frente al otro en un horno de manera que causen combustión, caracterizado porque:

15 el dispositivo de combustión está adaptado para modificar cíclicamente por lo menos uno de entre el caudal de un líquido combustible y el caudal de un líquido oxidante suministrado a los quemadores respectivos, a la vez que se modifica cíclicamente la concentración de oxígeno en el líquido oxidante, modificando cíclicamente de esta manera la proporción de oxígeno obtenida mediante la división de la cantidad de oxígeno suministrada por la cantidad de oxígeno teóricamente necesaria, de manera que se provoca que los quemadores causen combustión en un estado de oscilación cíclica, y
 20 con respecto al cambio cíclico del estado de oscilación de los quemadores, se proporciona una diferencia de fases entre un cambio cíclico en un estado de oscilación de por lo menos un quemador y cambios cíclicos en los estados de oscilación de otros quemadores.

25 En el segundo aspecto, resulta preferente que el dispositivo de combustión incluya una tubería de suministro de combustible para suministrar el combustible, una tubería de suministro de oxígeno para suministrar oxígeno y una tubería de suministro de aire para suministrar aire, y el oxígeno y aire suministrados forman el oxidante, y el dispositivo de combustión incluye medios de oscilación forzada para hacer oscilar forzosamente los flujos de combustible, oxígeno y aire suministrados por las tuberías respectivas.

30 En el segundo aspecto, resulta preferente que un detector para medir el estado atmosférico del horno se disponga en el horno, y que el dispositivo de combustión incluya un sistema de control para modificar el caudal del líquido combustible o del líquido oxidante, o el ciclo de la oscilación forzada, basándose en los datos detectados por el detector.

Efectos ventajosos de la invención

35 La presente invención puede proporcionar un método de combustión que puede reducir en gran medida y fiablemente la cantidad de NO_x. La presente invención puede aplicarse no sólo a un horno de calentamiento de nuevo diseño, sino también a un quemador de combustión de un horno de calentamiento existente.

Breve descripción de los dibujos

40 La fig. 1 es una vista en planta que muestra un horno según una primera realización de la presente invención.
 La fig. 2 es un diagrama esquemático que muestra las tuberías de suministro de un quemador utilizado según la primera realización de la presente invención.
 45 Las figs. 3 (a) y 3 (b) son vistas en planta que muestran un horno según la primera realización de la presente invención.
 Las figs. 4 (a) y 4 (b) son vistas en planta que muestran un horno según una segunda realización de la presente invención.
 La fig. 5 es una vista en planta que muestra el horno según la segunda realización de la presente invención.
 50 La fig. 6 es una vista en planta que muestra un horno según una tercera realización de la presente invención.
 La fig. 7 es una vista en planta que muestra el horno según la tercera realización de la presente invención.
 La fig. 8 es un gráfico que muestra la relación entre la frecuencia y la concentración de NO_x en un ejemplo de la presente invención.
 La fig. 9 es un gráfico que muestra la relación entre la frecuencia y la concentración de CO en un ejemplo de la presente invención.
 55 La fig. 10 es un gráfico que muestra la relación entre la proporción de oxígeno y la concentración de NO_x en un ejemplo de la presente invención.
 La fig. 11 es un gráfico que muestra la relación entre la proporción de oxígeno y la concentración de CO en un ejemplo de la presente invención.
 60 La fig. 12 es una vista en planta que muestra un dispositivo de combustión de la presente invención.

Descripción de realizaciones

65 Se describe en detalle posteriormente un método de combustión de quemador según una realización en el que se aplica la presente invención, haciendo referencia a los dibujos adjuntos. En algunos dibujos utilizados para la descripción a continuación, las distintas partes se amplían por conveniencia, a fin de simplificar las partes y, de esta

manera, la proporción de dimensiones entre los componentes respectivos no es necesariamente la misma que la utilizada realmente.

Primera realización

5

Dispositivo de combustión

Tal como se muestra en las figs. 1 y 2, un dispositivo de combustión utilizada en una primera realización de la presente invención incluye un horno 1, quemadores 2 para formar una llama de combustión 3 en el horno 1, y diversos tipos de tuberías 5, 6, 7 y 8 para suministrar un líquido combustible y un líquido oxidante a los quemadores 2.

10

Tal como se muestra en la fig. 1, el horno 1 puede ser un horno de calentamiento o un horno de fusión. El horno 1 se extiende en la dirección longitudinal y presenta una pared lateral 1a y una pared lateral 1b una frente a la otra. La pared lateral 1a se proporciona con una pluralidad de quemadores 2a y la pared lateral 1b también se proporciona con una pluralidad de quemadores 2b. Tal como se ha indicado anteriormente, el horno 1 presenta una denominado estructura de quemador lateral que incluye los quemadores 2a y 2b dispuestos en ambas paredes laterales, 1a y 1b, en la dirección longitudinal para formar las llamas de combustión 3a y 3b.

15

En la presente realización, el número de quemadores 2a proporcionado en la pared lateral 1a es el mismo que el de quemadores 2b proporcionados en la pared lateral 1b, aunque puede ser diferente.

20

Los quemadores 2a y 2b están dispuestos para formar las llamas de combustión 3a y 3b que se extienden desde las paredes laterales respectivas 1a y 1b con los quemadores formados en ellas en las paredes laterales enfrentadas 1b y 1a. Es decir, el quemador 2a forma la llama de combustión 3a que se extiende hacia la pared lateral 1b, y el quemador 2b forma la llama de combustión 3b que se extiende hacia la pared lateral 1a. Las llamas de combustión 3a de los quemadores 2a y las llamas de combustión 3b de los quemadores 2b están dispuestos alternadamente dentro del horno 1, formando de esta manera la llama de combustión 3.

25

Tal como se indica posteriormente, cada quemador 2 causa combustión en un estado de oscilación cíclica (combustión oscilante forzada). En ese momento, el estado de oscilación está controlado en unidades de redes de quemadores, cada uno de los cuales comprende uno o más quemadores 2.

30

En la presente realización, todos los quemadores 2a proporcionados en la pared lateral 1a forman una red de quemadores 14a, de manera que los estados de oscilación de todos los quemadores 2a están controlados de la misma manera. Además, todos los quemadores 2b proporcionados en la pared lateral 1b forman una red de quemadores 14b, de manera que los estados de oscilación de todos los quemadores 2b están controlados de la misma manera. La combustión de cada quemador 2 se describe posteriormente.

35

Tal como se muestra en la fig. 2, cada quemador 2 está conectado a la tubería de suministro de combustible 5 para suministrar el líquido combustible, y la tubería de suministro de oxidante 6 para suministra el líquido oxidante. La tubería de suministro de oxidante 6 se ramifica en la tubería de suministro de oxígeno 7 y la tubería de suministro de aire 8 en su lado de corriente arriba.

40

La tubería de suministro de combustible 5, la tubería de suministro de oxígeno 7 y la tubería de suministro de aire 8 se proporcionan con medios de oscilación forzada 51, 71 y 81 para oscilar forzosamente los fluidos suministrados a las tuberías, respectivamente.

45

La expresión "oscilar forzosamente el flujo del líquido" se refiere a que el caudal del líquido se ajusta cíclicamente. Específicamente, los medios de oscilación forzada 51, 71 y 81 corresponden a unidades de control que incluyen válvulas de ajuste de caudal 52, 72 y 82 proporcionados en las tuberías de suministro 5, 7 y 8, y los caudalímetros 53, 73 y 83, para controlar las válvulas de ajuste de caudal 52, 72 y 82.

50

El combustible suministrado por la tubería de suministro de combustible 5 puede ser cualquier otra con la condición de que resulte apropiada para la combustión del quemador 2 y pueda incluir, por ejemplo, gas natural líquido (GNL) y similar.

55

Se suministra oxígeno desde la tubería de suministro de oxígeno 7 pero no es necesariamente oxígeno puro y debe ser uno deseado desde el punto de vista de la relación con la concentración de oxígeno indicada posteriormente. Se suministra aire desde la tubería de suministro de aire 8, aunque también puede utilizarse como aire un gas de escape de combustión excepto por el aire obtenido de la atmósfera. Con la utilización del gas de escape de combustión, puede reducirse la concentración de oxígeno a menos de 21% (concentración de oxígeno en el aire).

60

Tal como se muestra en la fig. 12, se proporcionan preferentemente diversos tipos de detectores en el horno 1 para proporcionar una respuesta rápida al estado en el interior del horno 1. Es decir, la temperatura dentro del horno 1 se mide con sensores de temperatura 9, y la concentración del gas de escape (NO_x, CO, CO₂, O₂) descargado a partir del horno 1 por un conducto de gas 10 se mide mediante un dispositivo de medición continua 11 de concentración de

65

gas de escape. Además, los datos obtenidos por los detectores se almacenan en una unidad de almacenamiento de datos 12. Preferentemente se proporciona un sistema de control 13 para medir el estado de la atmósfera dentro del horno 1 basándose en los datos, modificando de esta manera automática y apropiadamente el caudal del líquido combustible o líquido oxidante, o el ciclo de la oscilación forzada. Específicamente, el sistema de control 12 hace oscilar forzosamente el flujo de líquido suministrado desde cada una de las diversas tuberías mediante una unidad de control 14. Como resultado, el estado de oscilación de una combustión oscilante 15 en los quemadores 2 se modifica cíclicamente.

Caudal de líquido oxidante y concentración de oxígeno en el líquido oxidante

A continuación, se describe posteriormente el caudal de líquido oxidante y la concentración de oxígeno en el líquido oxidante. En la descripción a continuación, por conveniencia, oxígeno puro, aire (la concentración de oxígeno del cual es de aproximadamente 21%) y gas natural líquido (GNL) se suministran desde la tubería de suministro de oxígeno 7, la tubería de suministro de aire 8 y la tubería de suministro de combustible 5, respectivamente. La concentración de oxígeno en la presente especificación se representa en términos de "% en volumen".

En la presente realización, el líquido oxidante comprende oxígeno puro y aire. Uno o ambos del caudal de oxígeno puro suministrado desde la tubería de suministro de oxígeno 7 y el caudal de aire suministrado desde la tubería de suministro de aire 8 se controlan para la modificación cíclica durante el tiempo mediante los medios de oscilación forzada 71 y 81.

El caudal de oxígeno puro y el caudal de aire pueden controlar de cualquier manera con la condición de que la concentración de oxígeno en el líquido oxidante cambie cíclicamente. La suma de caudal de oxígeno puro y caudal de aire (es decir, caudal del líquido oxidante) puede ser constante o cambiar cíclicamente.

Con el fin de fijar el caudal de líquido oxidante, por ejemplo, el cambio cíclico de caudal de oxígeno puro y el cambio cíclico de caudal de aire deben presentar la misma forma de onda y el mismo rango de fluctuación con una diferencia de fase entre ellas fijada en π . Con la constitución, un incremento o una reducción del caudal del oxígeno puro se compensa con un incremento o reducción del caudal de aire, de manera que el caudal del líquido oxidante suministrado a los quemadores 2 se controla en el nivel constante.

En este caso, el mínimo de caudal de cada uno de oxígeno puro y aire se controla preferentemente a cero (0). Dicho control puede modificar la concentración de oxígeno en el líquido oxidante en un intervalo de aproximadamente 21% a 100%.

Es decir, en el caso de que el caudal de oxígeno puro contenido en el líquido oxidante sea de 0 (cero), la concentración de oxígeno en el líquido oxidante es igual a la concentración de oxígeno en el aire, y de esta manera, es de aproximadamente 21%. En contraste, en el caso de que el caudal de aire contenido en el líquido oxidante sea de 0 (cero), el líquido oxidante comprende únicamente oxígeno puro, y de esta manera, la concentración de oxígeno es de 100%.

En contraste, para modificar cíclicamente el caudal del líquido oxidante, por ejemplo, puede modificarse el caudal de oxígeno puro a intervalos regulares, a la vez que se suministra una cantidad constante de aire. En este caso, en el caso de que se maximice el caudal de oxígeno puro, la concentración de oxígeno en el líquido oxidante se vuelve máxima y, de esta manera, la concentración de oxígeno en el líquido oxidante se vuelve mínima al minimizar el caudal de oxígeno puro.

Por ejemplo, se controla el caudal de oxígeno puro de manera que el caudal máximo de oxígeno puro se fije en el mismo nivel que el caudal de aire, y de manera que el caudal mínimo del mismo se fije en 0 (cero), de manera que la concentración de oxígeno en el líquido oxidante cambia cíclicamente en un intervalo de aproximadamente 21% a 61%. Es decir, al maximizar el caudal de oxígeno puro, la proporción de caudales de oxígeno puro a aire es de 1:1, de manera que la concentración de oxígeno en el líquido oxidante es de aproximadamente 61%. En el caso de que se minimice el caudal de oxígeno puro, el líquido oxidante comprende únicamente aire, de manera que la concentración de oxígeno es de aproximadamente 21%.

Aunque el método para modificar el caudal de oxígeno puro a intervalos regulares con el caudal de aire fijo en un valor constante se ha descrito anteriormente como el método para modificar cíclicamente el caudal de líquido oxidante, el caudal de aire puede modificarse cíclicamente con el caudal de oxígeno puro fijo en un valor constante, o pueden modificarse cíclicamente ambos caudales.

Caudal de líquido combustible

En el caso de que se modifique cíclicamente el caudal de líquido oxidante, el caudal de líquido combustible puede fijarse en un valor constante, o modificarse cíclicamente. En contraste, en el caso de que el caudal del líquido oxidante se fije en un valor constante, se modifica cíclicamente el caudal del líquido combustible.

Proporción de oxígeno

A continuación, se indica posteriormente una proporción de oxígeno. La expresión “proporción de oxígeno” se refiere a un valor proporcionado mediante la división del nivel de suministro de oxígeno suministrado al quemador 2 como líquido oxidante por la cantidad de oxígeno teóricamente necesaria que se requiere para la combustión del líquido combustible suministrado al quemador 2. De esta manera, el estado de la proporción de oxígeno de 1,0 corresponde a un estado que permite la combustión completa utilizando el oxígeno en la proporción justa, en teoría.

El oxígeno requerido en teoría con la combustión de GNL, que depende de la composición del GNL, es aproximadamente 2,3 veces superior a la de GNL, en términos de proporción molar.

En la presente realización, por lo menos uno de los caudales del líquido combustible y del líquido oxidante se modifica cíclicamente, y la concentración de oxígeno en el líquido oxidante también se modifica cíclicamente, de manera que la proporción de oxígeno también se modifica cíclicamente.

Por ejemplo, en el caso de que el caudal del líquido oxidante se fije en un valor constante con el caudal del líquido oxidante definida como 1, y se modifica cíclicamente el caudal del líquido combustible, la concentración de oxígeno en el oxidante se modifica cíclicamente en un intervalo de 21% a 100%, y el caudal del líquido combustible (GNL) se modifica cíclicamente en un intervalo de 0,05 a 0,65. Como resultado, la proporción de oxígeno se modifica cíclicamente en un intervalo de 0,14 a 8,7. La relación entre el caudal Q_f [Nm^3/h] del líquido combustible (GNL), el caudal Q_{O_2} [Nm^3/h] del oxidante, la concentración de oxígeno X_{O_2} [% vol.] del oxidante y la proporción de oxígeno m [-] se representa mediante la ecuación (1) a continuación:

$$m = (Q_{O_2} \times X_{O_2}/100) / (Q_f \times 2.3) \quad (1)$$

En el caso de que se modifique cíclicamente el caudal de líquido oxidante, el caudal del líquido combustible puede fijarse en un valor constante. En este momento, cuando, por ejemplo, se modifica el caudal del líquido oxidante en un intervalo de 1 a 2, la concentración de oxígeno en el oxidante se modifica en un intervalo de 21% a 61% y el caudal del líquido combustible (GNL) es de 0,3 en el momento del suministro, la proporción de oxígeno se modifica cíclicamente en un intervalo de 0,3 a 1,75. La relación entre el caudal del líquido combustible (GNL), el caudal del oxidante, la concentración de oxígeno en el oxidante y la proporción de oxígeno, también puede representarse mediante la misma ecuación que la ecuación (1).

En el caso de que la frecuencia del cambio cíclico de la proporción de oxígeno sea elevada, el efecto de reducción del nivel de NO_x no puede manifestarse suficientemente. De esta manera, la frecuencia es preferentemente de 20 Hz o inferior, y más preferentemente de 5 Hz o inferior. En contraste, en el caso de que la frecuencia del cambio cíclico en la proporción de oxígeno sea excesivamente baja, se incrementa la cantidad de CO generada. De esta manera, la frecuencia es preferentemente de 0,02 Hz o superior, y más preferentemente de 0,03 Hz o superior.

En el caso de que la diferencia entre los límites superior e inferior de la proporción de oxígeno sea pequeña, el efecto de reducción del nivel de NO_x no puede manifestarse suficientemente. De esta manera, la diferencia entre los límites superior e inferior de la proporción de oxígeno es preferentemente de 0,2 o superior.

En el caso de que la proporción de oxígeno media por tiempo (valor medio por ciclo) sea pequeña, se produce una combustión incompleta del líquido combustible. De esta manera, la proporción de oxígeno media es preferentemente de 1,0 o superior, y más preferentemente de 1,05 o superior.

Tal como se ha indicado anteriormente, en la presente realización, por lo menos uno de caudal del líquido combustible (GNL) y caudal de líquido oxidante, y la concentración de oxígeno en el líquido oxidante, se modifican cíclicamente, modificando cíclicamente de esta manera la proporción de oxígeno.

Dichas modificaciones cíclicas se controlan mediante la modificación del caudal del líquido combustible, del caudal de oxígeno y del caudal de aire. Por ejemplo, en el caso de que el caudal de líquido combustible se modifique en un intervalo de 0,5 a 1,5, se modifique el caudal de oxígeno en un intervalo de 1,2 a 1,7 y se modifique el caudal de aire en un intervalo de 0 a 9,2 en el momento del suministro, la proporción de oxígeno se modifica cíclicamente en un intervalo de 0,5 a 2,7 y la concentración de oxígeno se modifica cíclicamente en un intervalo de 30% a 100%.

Combustión de quemadores

A continuación, se describe la combustión de los quemadores 2. Cada quemador 2 lleva a cabo una combustión rica y una combustión pobre temporales para modificar cíclicamente su estado de oscilación según cambios en los caudales del líquido combustible y del líquido oxidante suministrados, y de la concentración de oxígeno en el líquido oxidante. La expresión “estado de oscilación” tal como se utiliza en la presente invención se refiere específicamente a fluctuaciones en el estado de combustión causadas por la modificación del caudal de por lo menos uno de combustible y oxidante.

En la presente realización, tal como se muestra en la fig. 1, se proporciona una pluralidad de quemadores 2 dentro del horno 1. La diferencia de fase entre el cambio cíclico (ciclo de oscilación) en un estado de oscilación de cada quemador 2 y el ciclo de oscilación de otro quemador 2 enfrentado al primero se controla para que sea π .

La expresión “quemadores 2 enfrentados uno a otro” tal como se utiliza en la presente memoria se refiere a que los quemadores se disponen en posiciones enfrentadas de las paredes laterales enfrentadas 1a y 1 b, lo que no significa necesariamente situados en posiciones enfrentadas en un sentido estricto. Es decir, quemadores enfrentados se refiere a que los quemadores 2 están situados en las posiciones más próximas que causan que los quemadores se encuentren sustancialmente enfrentados unos a otros. Por ejemplo, el quemador 2 enfrentado al quemador 2a₁ corresponde a un quemador 2b₁, y el quemador 2 enfrente al quemador 2a₂ corresponde a un quemador 2b₂.

En la presente realización, todos los quemadores 2a dispuestos en la pared lateral 1a forman la red de quemadores 14a, en la que todos los quemadores 2a respectivos se sincronizan entre sí en términos de cambios cíclicos en el caudal del líquido combustible, el caudal del aire y el caudal de oxígeno. Todos los quemadores 2b dispuestos en la pared lateral 1b forman la red de quemadores 14b, en la que todos los quemadores respectivos 2b también están sincronizados entre sí. Tal como se muestra en la fig. 3(a), cuando el quemador 2a dispuesto en la pared lateral 1a combustiona más intensamente, el quemador 2b dispuesto en la pared lateral 1b combustiona más débilmente. En contraste, tal como se muestra en la fig. 3(b), cuando el quemador 2a dispuesto en la pared lateral 1b combustiona más débilmente, el quemador 2b dispuesto en la pared lateral 1b combustiona más intensamente.

Todos los quemadores 2a están sincronizados entre sí en términos de cambios cíclicos de caudal del líquido combustible, caudal del aire y caudal de oxígeno, de manera que también están sincronizados en términos de los cambios cíclicos en la proporción de oxígeno y la concentración de oxígeno. El término “sincronización” tal como se utiliza en la presente memoria se refiere a la misma forma de onda, frecuencia y fase, y no se refiere necesariamente al mismo intervalo de fluctuación. Por ejemplo, los quemadores 2a₁ y 2a₂ pueden diferir entre sí en el intervalo de fluctuación.

Lo mismo se aplica al quemador 2b. Todos los quemadores 2b están sincronizados entre sí en términos de cambios cíclicos en la proporción de oxígeno y la concentración de oxígeno, y pueden diferir entre sí en el intervalo de fluctuación.

La sincronización de todos los quemadores 2a y 2b dispuestos en las paredes laterales 1a y 1b en términos de proporción de oxígeno preferentemente lleva simultáneamente a los quemadores a la condición de una proporción de oxígeno baja, ampliando de esta manera una zona de ausencia de oxígeno, resultando en un efecto mejorado de reducción del nivel de NO_x. La sincronización de los quemadores 2a y 2b dispuestos en las paredes laterales 1a y 1b en términos de concentración de oxígeno preferentemente lleva los quemadores a la condición de una baja concentración de oxígeno, que no forma una zona local de alta temperatura, resultando en un efecto mejorado de reducción del nivel de NO_x.

Respecto a la relación entre los quemadores 2a y 2b, se fija la diferencia de fase entre ellos en “ π ”, y preferentemente los quemadores 2a y 2b presentan la misma frecuencia y forma de onda en términos de por lo menos uno de cambios cíclicos de la proporción de oxígeno y concentración de oxígeno.

Los quemadores 2 enfrentados preferentemente presentan el mismo intervalo de fluctuación. Por ejemplo, preferentemente, el quemador 2a₁ y el quemador 2b₁ presentan la misma forma de onda, frecuencia e intervalo de fluctuación en términos de cambios cíclicos en la proporción de oxígeno y la concentración de oxígeno, y presentan una diferencia de fase de π .

Tal como se ha indicado anteriormente, el método de combustión de quemador según la presente realización puede reducir fiablemente la cantidad de NO_x generado en gran medida.

Es decir, en un método convencional de combustión de quemador, sólo por lo menos uno del caudal de un líquido combustible y el caudal de un líquido oxidante suministrados a los quemadores se modifica, modificando cíclicamente de esta manera sólo la proporción de oxígeno. En contraste, en la presente realización, por lo menos uno del caudal del líquido combustible y el caudal del líquido oxidante se modifica cíclicamente y, simultáneamente, se modifica cíclicamente la concentración de oxígeno en el líquido oxidante. De esta manera, se posibilita que se obtenga un efecto elevado de reducción del nivel de NO_x en comparación con la técnica anterior.

En el caso de que una pluralidad de quemadores dispuestos en el horno presente el mismo cambio cíclico en un estado de oscilación (ciclo de oscilación), puede obtenerse un efecto elevado de reducción del nivel de NO_x, pero los caudales del líquido combustible y del líquido oxidante en los quemadores fluctúa mucho, lo que resulta en un incremento de las fluctuaciones en la presión en el horno. En contraste, en la presente realización, respecto al cambio cíclico del estado de oscilación de los quemadores 2, se proporciona una diferencia de fase entre el ciclo de oscilación de por lo menos un quemador 2 y el de otro quemador 2. Esta constitución proporciona un efecto elevado de reducción

del nivel de NO_x , reduciendo simultáneamente las fluctuaciones de los caudales del líquido combustible y del líquido oxidante suministrados al horno 1, que puede equalizar la presión aplicada en el horno 1 por los quemadores 2.

En particular, la diferencia de fase entre los quemadores enfrentados 2 se fija en π , que puede obtener un gran efecto de reducción del nivel de NO_x , manteniendo simultáneamente constante la presión dentro del horno 1.

El método de combustión de quemador en la presente realización puede aplicarse no sólo al caso de diseño de un nuevo horno de calentamiento, sino también a quemadores en el horno de calentamiento u horno de combustión existente.

Segunda realización

A continuación, se describe un método de combustión de quemador según una segunda realización en la que se aplica la presente invención. La presente realización es un ejemplo modificado de la primera realización y, de esta manera, se omite posteriormente una descripción de las mismas partes.

La presente realización difiere de la primera realización en que los quemadores 2 contiguos presentan una diferencia de fase en el ciclo de oscilación, pero es igual a la primera realización excepto por este punto.

Tal como se muestra en las figs. 4(a) y 4(b), también en la presente realización, las paredes laterales 1a y 1b se proporcionan con una pluralidad de quemadores 2a y quemadores 2b, respectivamente. Cada quemador 2 forma una red de quemadores correspondiente 24 que comprende únicamente un quemador. Es decir, los quemadores 2a dispuestos en la pared lateral 1a forman, respectivamente, las redes de quemadores 24a, y los quemadores 2b dispuestos en la pared lateral 1b forman, respectivamente, las redes de quemadores 24b.

En la presente realización, los quemadores 2 contiguos están controlados de manera que se fija la diferencia de fase en el ciclo de oscilación entre ellos en π . Por ejemplo, tal como se muestra en la fig. 4(a), en el caso de que el quemador 2a₁ combustione más intensamente, los quemadores 2a₂ y 2a₃ contiguos al mismo combustionan más débilmente. En contraste, tal como se muestra en la fig. 4(b), en el caso de que el quemador 2a₁ combustione más débilmente, los quemadores 2a₂ y 2a₃ contiguos al mismo combustionan más intensamente.

En este momento, una diferencia de fase entre el ciclo de oscilación de cada quemador 2 y el ciclo de oscilación del quemador enfrentado 2 se controla para fijarlo en π . Por ejemplo, la diferencia de fase del ciclo de oscilación entre el quemador 2a₁ y el quemador 2b₁, opuesto al primero, se fija en π , y la diferencia de fase del ciclo de oscilación entre el quemador 2a₂ y el quemador 2b₂, opuesto al primero, se fija en π .

También en la presente realización, como en la primera realización, la concentración de oxígeno en el líquido oxidante se modifica cíclicamente, de manera que el efecto de reducción del nivel de NO_x puede producirse en un grado elevado en comparación con la técnica anterior.

El ciclo de oscilación del quemador 2 se controla para que presente una diferencia de fase de π respecto al ciclo de oscilación del quemador 2 contiguo. Como resultado, el quemador 2, que se hace combustionar con la proporción de oxígeno elevada y la baja concentración de oxígeno y el quemador 2, que se hace combustionar con la proporción de oxígeno baja y la elevada concentración de oxígeno se disponen alternadamente a lo largo de la dirección longitudinal. De esta manera, se fomenta la mezcla para equalizar la distribución de temperaturas dentro del horno, que puede reducir adicionalmente la cantidad de NO_x generada. Además, la concentración de CO en el gas de escape puede reducirse adicionalmente.

En la presente realización, la red de quemadores 24 comprende un quemador 2, aunque puede comprender una pluralidad de quemadores 2.

Es decir, tal como se muestra en la fig. 5, una pluralidad de pares de redes de quemadores 34a, cada una de las cuales comprende una pluralidad de quemadores 2a, puede proporcionarse en la pared lateral 1a del horno 1, y una pluralidad de pares de redes de quemadores 34b, cada una de los cuales comprende una pluralidad de quemadores 2b, puede proporcionarse en la pared lateral 1b. En ese caso, los quemadores 2 que forman cada red de quemadores 34 y los quemadores 2 que forman la red de quemadores 34 contiguos a la red de quemadores 34 anteriormente indicada pueden controlarse para que presenten una diferencia de fase en el ciclo de oscilación entre ellas de π . Por ejemplo, la diferencia de fase entre el ciclo de oscilación de los quemadores 2a que forman la red de quemadores 34a₁ y el ciclo de oscilación de los quemadores 2a que forman la red de quemadores 34a₂ y la red de quemadores 34a₃ puede fijarse en π .

Tercera realización

A continuación, se describe un método de combustión de quemador según una tercera realización en la que se aplica la presente invención. La presente realización es un ejemplo modificado de la primera realización y, de esta manera, se omite posteriormente una descripción de las mismas partes.

Además, la presente realización difiere de la primera realización en que se proporciona una diferencia en el ciclo de oscilación entre los quemadores 2 contiguos, aunque es igual a la primera realización excepto por el punto anteriormente indicado.

5 Es decir, tal como se muestra en la fig. 6, en la presente realización, se proporcionan 'n' trozos de quemadores 2a y 'n' trozos de quemadores 2b en las paredes laterales 1a y 1b del horno 1, respectivamente. Cada red de quemadores 44 está formada de sólo un quemador 2. Es decir, cada quemador 2a proporcionado en la pared lateral 1a forma la red de quemadores 44a y cada quemador 2b proporcionado en la pared lateral 1b forma la red de quemadores 44b.

10 En la presente realización, la diferencia de fase en el ciclo de oscilación entre los quemadores 2 contiguos entre sí se controla para fijarla en $2\pi/n$. Por ejemplo, en el caso de que se proporcionen cuatro quemadores 2a en la pared lateral 1a, la diferencia de fase entre el ciclo de oscilación del quemador 2a₁ y el ciclo de oscilación de cada uno de los quemadores contiguos 2a₂ y 2a₃ se controla en $\pi/2$. La diferencia de fase entre el ciclo de oscilación del quemador 2a₂ y el ciclo de oscilación del quemador 2a₃ se controla en π .

15 En este momento, la diferencia de fase entre el ciclo de oscilación de cada quemador 2 y el ciclo de oscilación del quemador 2 correspondiente enfrentado al primero se controla para que sea de π . Por ejemplo, la diferencia de fase del ciclo de oscilación entre el quemador 2a₁ y el quemador 2b₁, enfrentado al primero, se fija en π , y la diferencia de fase del ciclo de oscilación entre el quemador 2a₂ y el quemador 2b₂, enfrentado al primero, se fija en π .

20 También en la presente realización, como en la primera realización, la concentración de oxígeno en el líquido oxidante se modifica cíclicamente, de manera que el efecto de reducción del nivel de NO_x puede producirse en un grado elevado en comparación con la técnica anterior.

25 Además, en el caso de que el número de quemadores 2 dispuestos en la pared lateral del horno sea n, la diferencia de fase entre el ciclo de oscilación del quemador 2 y el ciclo de oscilación del quemador 2 contiguo se controla para que sea de $2\pi/n$. De esta manera, las fluctuaciones en los caudales del líquido combustible y del líquido oxidante suministrados al horno 1 pueden suprimirse, de manera que la presión dentro del horno 1 puede ecualizarse adicionalmente.

30 Aunque se ha realizado una descripción del caso en que cada red de quemadores 44 comprende un quemador 2 en la realización anterior, como en la primera realización, la red de quemadores puede comprender una pluralidad de quemadores 2.

35 Es decir, tal como se muestra en la fig. 7, pueden proporcionarse n pares de redes de quemadores 54a que comprenden una pluralidad de quemadores 2a, en la pared lateral 1a del horno 1 y también pueden proporcionarse n pares de redes de quemadores 54b que comprenden una pluralidad de quemadores 2b, en la pared lateral 1b del horno 1. En ese caso, la diferencia de fase del ciclo de oscilación entre los quemadores 2 que forman la red de quemadores 54 y los quemadores 2 que forman otra red de quemadores 54 contigua a la red de quemadores anterior 54 puede controlarse para que sea de $2\pi/n$. Por ejemplo, en el caso de que se proporcionen cuatro pares de redes de quemadores 54a, consistiendo cada par en dos quemadores 2a, en la pared lateral 1a del horno 1, la diferencia de fase del ciclo de oscilación entre los quemadores 2a que forman la red de quemadores 54a₁ y los quemadores 2a que forman las redes de quemadores 54a₂ y 54a₃ debería fijarse en $\pi/2$.

45 Aunque la presente invención se ha descrito anteriormente basándose en realizaciones, la presente invención no se encuentra limitada a las realizaciones. Resulta evidente que pueden realizarse diversas modificaciones y cambios en las realizaciones sin apartarse del alcance de la presente invención.

50 Se realiza una descripción, a título de ejemplo, del efecto de reducción del nivel de NO_x en el caso en que se utilice GLN como líquido combustible y se forme un líquido oxidante con una concentración de oxígeno de 99,6% y aire, y después se modifiquen cíclicamente la proporción de oxígeno y la concentración de oxígeno en el líquido oxidante, causando de esta manera una combustión oscilante forzada. La presente invención no se encuentra limitada a los ejemplos siguiente, y pueden realizarse diversas modificaciones y cambios en los ejemplos sin apartarse del alcance de la presente invención.

55 Ejemplo 1

60 En el Ejemplo 1, tal como se muestra en la fig. 3, se llevó a cabo una prueba utilizando un dispositivo de combustión que incluía ocho quemadores 2 dispuestos en el horno 1. Específicamente, se ajustaron todos los quemadores 2 para que presentasen la misma forma de onda, intervalo de fluctuación y frecuencia de proporción de oxígeno y de concentración de oxígeno en el oxidante. La concentración de oxígeno en el oxidante se modificó cíclicamente en un intervalo de 33% a 100% y la proporción de oxígeno se modificó cíclicamente en un intervalo de 0,5 a 1,6. La frecuencia de cada quemador se fijó en 0,033 Hz. En este momento, la concentración media de oxígeno en el oxidante por ciclo (concentración por tiempo) se fijó en 40% y la proporción media de oxígeno se fijó en 1,05. La diferencia de fase del cambio cíclico de cada concentración de oxígeno y de la proporción de oxígeno se fijó en π .

La diferencia de fase entre el ciclo de oscilación del quemador 2 proporcionado en la pared lateral 1a y el ciclo de oscilación del quemador 2 proporcionado en la pared lateral 1b se fijó en π .

5 El gas de escape se aspiró continuamente a partir de un conducto de gas utilizando una bomba de succión y después se midió la concentración de NO_x en el gas de escape de combustión utilizando un dispositivo de medición continua quimioluminiscente de la concentración de NO_x .

10 Para el análisis de los resultados experimentales, la concentración de NO_x en el gas de escape de combustión en la combustión enriquecida en oxígeno convencional (combustión estacionaria) se midió utilizando el mismo dispositivo de medición y después se definió el valor medido como valor de referencia de NO_x (ref.).

15 En el Ejemplo 1, la concentración de NO_x era de 90 ppm y el valor (ref.) de NO_x era de 850 ppm. Como resultado, se redujo la concentración de NO_x en aproximadamente 90% en comparación con la NO_x (ref.).

A título de comparación, como la combustión oscilante forzada convencional, se llevó a cabo una prueba bajo las mismas condiciones que en el Ejemplo 1, excepto en que se fijó la concentración de oxígeno en 40% y sólo se modificó cíclicamente la proporción de oxígeno en un intervalo de 0,5 a 1,6.

20 En el Ejemplo comparativo 1, la concentración de NO_x era de 410 ppm y el valor (ref.) de NO_x era de 850 ppm. Como resultado, se redujo la concentración de NO_x en aproximadamente 50% en comparación con la NO_x (ref.).

Ejemplo 2

25 A continuación, en el Ejemplo 2, con el fin de examinar la influencia sobre el efecto de reducción de la concentración de NO_x de la frecuencia de oscilación de los quemadores 2, se fijaron las mismas condiciones que las del Ejemplo 1 excepto la frecuencia, y se modificó la frecuencia de la proporción de oxígeno y de la concentración de oxígeno en el oxidante en un intervalo de 0,017 a 100 Hz. En este momento se fijaron las frecuencias de la proporción de oxígeno y de la concentración de oxígeno en el oxidante al mismo nivel.

30 El gas de escape se aspiró continuamente a partir de un conducto de gas utilizando una bomba de succión y después se midió la concentración de CO en el gas de escape de combustión utilizando un dispositivo de medición continua de infrarrojos de la concentración de CO.

35 Los resultados de concentración de NO_x se muestran en la Tabla 1 y en la fig. 8, y los resultados de la concentración de CO se muestran en la Tabla 2 y en la fig. 9.

40 Tras el análisis de los resultados experimentales de las concentraciones de CO, al llevar a cabo una combustión enriquecida en oxígeno de la técnica relacionada (combustión estacionaria), se midió la concentración de CO en el gas de escape de combustión utilizando el mismo dispositivo de medición y después se definió el valor medido como el valor de referencia de CO (ref.). En las figs. 8 y 9, el eje horizontal indica la frecuencia de la concentración de oxígeno y de la proporción de oxígeno, y el eje longitudinal indica la concentración de NO_x ($\text{NO}_x/\text{NO}_x(\text{ref.})$) normalizada respecto a la NO_x de referencia (ref.), o la concentración de CO ($\text{CO}/\text{CO}(\text{ref.})$) normalizada respecto a la CO de referencia (ref.). A título comparativo, los resultados de concentraciones de NO_x obtenidos mediante la modificación cíclica de únicamente la proporción de oxígeno en el intervalo de 0,5 a 1,6 con la concentración de oxígeno fijada en 40%, como la combustión oscilante forzada convencional, también se muestran en la Tabla 1 y en la fig. 8.

[Tabla 1]

Frecuencia	Ejemplo 2	Ejemplo comparativo
0,017	0,1	0,45
0,02	0,1	0,45
0,025	0,115	0,465
0,033	0,13	0,475
0,067	0,15	0,5
0,2	0,2	0,55
1	0,4	0,68
5	0,8	0,9
10	0,87	0,95
20	0,94	0,98
25	0,98	1
50	1	1
100	1	1

Tal como resulta evidente a partir de la Tabla 1 y la fig. 8, la concentración de NO_x tiende a reducirse drásticamente al fijar la frecuencia en 20 Hz o menos, y en el caso de que la frecuencia de cambio cíclico en la proporción de oxígeno y de la concentración de oxígeno en el oxidante se fije en 20 Hz o menos, puede obtenerse un mayor efecto de reducción del nivel de NO_x.

5

[Tabla 2]

Frecuencia	Ejemplo 2
0,017	1,5
0,02	1,3
0,025	1,1
0,033	1
0,067	0,95
0,2	0,92
1	0,9
5	0,9
10	0,9
20	0,9
25	0,9
50	0,9
100	0,9

Tal como resulta evidente a partir de la Tabla 2 y la fig. 9, la concentración de CO no resulta muy influida por la frecuencia en el intervalo de 0,017 a 100 Hz y, particularmente, resulta menos influida por una frecuencia de 0,02 Hz o superior.

Ejemplo 3

15

A continuación, en el Ejemplo 3, se examinó la influencia sobre el efecto de reducción de la concentración de NO_x del intervalo de fluctuación de la proporción de oxígeno, con el caudal de combustible fijo en un valor constante. Específicamente, se midió la concentración de NO_x mediante la modificación cíclica de la concentración de oxígeno en el intervalo de 30% a 100% y mediante la modificación del intervalo de fluctuación de la proporción de oxígeno.

20

Bajo cada una de las condiciones de los límites inferiores de la proporción de oxígeno de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 y 0,5, la concentración de NO_x en el gas de escape se midió mediante la modificación del límite superior de la proporción de oxígeno en un intervalo de 1,1 a 7.

25

La proporción media de oxígeno por tiempo se fijó en 1,05 y la concentración de oxígeno en el líquido oxidante se fijó en 40%. Por ejemplo, para una proporción de oxígeno m de 0,5 a 5, se ajustó un intervalo de tiempo de combustión en $m < 1,05$ para que fuese más prolongado que en $m > 1,05$. A la inversa, para una proporción de oxígeno m de 0,2 a 1,2, se ajustó el intervalo de tiempo de combustión en $m < 1,05$ para que fuese más corto que en $m > 1,05$. Debido a que el caudal de combustible, la proporción media de oxígeno y la concentración media de oxígeno se fijaron, cada uno, en un valor constante, la cantidad de oxígeno utilizada para cada periodo de tiempo determinado era la misma.

30

Los resultados de medición de la concentración de NO_x se muestran en la Tabla 3 y en la fig. 10, y los resultados de la medición de la concentración de CO se muestran en la Tabla 4 y en la fig. 11. En las figs. 10 y 11, el eje horizontal indica el límite superior m_{max} de la proporción de oxígeno, y el eje longitudinal indica la concentración de NO_x normalizada o la concentración de CO normalizada. Los valores mostrados en la Tabla 3 y en la Tabla 4 son la concentración de NO_x normalizada o la concentración de CO normalizada.

35

[Tabla 3]

m_{max}	$m_{min} = 0,1$	$m_{min} = 0,2$	$m_{min} = 0,3$	$m_{min} = 0,4$	$m_{min} = 0,5$
1,1	0,35	0,4	0,43	0,47	0,52
1,6	0,17	0,21	0,24	0,27	0,3
2	0,12	0,14	0,17	0,19	0,23
3	0,1	0,115	0,135	0,15	0,17
4	0,09	0,11	0,12	0,125	0,135
5	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105
6	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

40

[Tabla 4]

m_{max}	$m_{min} = 0,1$	$m_{min} = 0,2$	$m_{min} = 0,3$	$m_{min} = 0,4$	$m_{min} = 0,5$
1,1	1,5	1,02	0,93	0,9	0,9
1,6	1,52	1,04	0,93	0,92	0,92
2	1,55	1,05	0,94	0,93	0,93
3	1,6	1,07	1,02	0,96	0,95
4	1,65	1,1	1,05	0,98	0,97
5	1,9	1,13	1,09	1,03	1,02
6	2,2	1,32	1,27	1,22	1,17
7	3	2,17	1,92	1,72	1,47

5 Tal como resulta evidente a partir de la Tabla 3, Tabla 4, fig. 10 y fig. 11, a medida que se incrementa el límite inferior m_{min} de la proporción de oxígeno, la concentración de NO_x tiende a incrementarse y la concentración de CO tiende a reducirse.

10 Tal como resulta evidente a partir de la Tabla 3 y la fig. 10, en el gráfico de $m_{min}=0,5$, a medida que m_{max} se incrementa (se incrementa la amplitud de la proporción de oxígeno), se reduce la concentración de NO_x , mientras que la concentración de NO_x se vuelve constante para $m_{max}>5$. En el gráfico de $m_{min}=0,3$, la concentración de NO_x se reduce en comparación con el gráfico de $m_{min}=0,5$, aunque hay poca diferencia entre el caso de $m_{min}=0,2$ y el caso de $m_{min}=0,3$.

15 De esta manera, con el fin de reducir tanto la concentración de NO_x como la concentración de CO, el límite inferior m_{min} de la proporción de oxígeno es preferentemente de 0,3.

Tal como resulta evidente de la Tabla 4 y la fig. 11, a medida que se incrementa el límite superior m_{max} de la proporción de oxígeno, se incrementa la concentración de CO. En particular, resulta evidente que la concentración de CO se reduce drásticamente para $m_{max}>6$.

20 De esta manera, en la presente invención, resulta evidente que la proporción de oxígeno se modifica preferentemente en un intervalo de 0,3 a 6 con el fin de reducir la concentración de CO junto con la concentración de NO_x en el gas de escape.

25 Ejemplo 4

En el Ejemplo 4, se examinó la influencia sobre la cantidad de emisión de NO_x del intervalo de fluctuación de la concentración de oxígeno, con el caudal de combustible fijo en un valor constante, mediante la modificación de la proporción de oxígeno en un intervalo de 0,5 a 1,6, y también mediante la modificación del intervalo de fluctuación de la concentración de oxígeno. En una prueba, el límite inferior de la concentración de oxígeno se fijó en 33% y el límite superior C_{max} de la concentración de oxígeno se modificó en un intervalo de 50% a 100%. La proporción media de oxígeno se fijó en 1,05 y la concentración de oxígeno en el oxidante se fijó en 40%.

35 Las frecuencias de la proporción de oxígeno y de la concentración de oxígeno se fijaron en 0,067 Hz y la diferencia de fase del cambio cíclico en cada una de la proporción de oxígeno y de la concentración de oxígeno se fijó en π . Se muestran los resultados en la Tabla 5.

[Tabla 5]

Concentración de oxígeno máxima, C_{max}	Concentración de NO_x , NO_x/NO_x (ref)
50	0,55
60	0,4
70	0,35
80	0,33
90	0,31
100	0,3

40 Tal como resulta evidente a partir de la Tabla 5, a medida que se incrementa el intervalo de fluctuación de la concentración de oxígeno, se incrementa adicionalmente el efecto de reducción de la concentración de NO_x .

45 Ejemplo 5

A continuación, en el Ejemplo 5, tal como se muestra en la fig. 4, se examinó el efecto de reducción de la concentración de NO_x al desplazar el ciclo de oscilación de cada quemador 2 en fase en π respecto al ciclo de oscilación del quemador 2 contiguo en funcionamiento. Específicamente, todos los quemadores 2 se hicieron combustionar fijando

la misma forma de onda, intervalo de oscilación y frecuencia de los cambios cíclicos de la proporción de oxígeno y de la concentración oxígeno, con una diferencia de fase de π entre los quemadores dispuestos alternadamente. Además, el ciclo de oscilación de cada quemador 2 se desplazó en fase en π respecto al ciclo de oscilación del quemador 2 enfrenteado.

5 La concentración de oxígeno en el oxidante se modificó cíclicamente en un intervalo de 33% a 100% y la proporción de oxígeno se modificó cíclicamente en un intervalo de 0,5 a 1,6. En este momento, la concentración media de oxígeno por tiempo se fijó en 40% y la proporción de oxígeno se fijó en 1,05. Se llevó a cabo una prueba a las frecuencias de los cambios cíclicos de la concentración de oxígeno y de la proporción de oxígeno de 0,033 Hz. La diferencia de fase del cambio cíclico en cada una de la concentración de oxígeno y la proporción de oxígeno se fijó en π .

Los resultados de medición de la concentración de NO_x se muestran en la Tabla 6. Los resultados de medición de la concentración de CO se muestran en la Tabla 7.

[Tabla 6]

	NO_x/NO_x ref
Ejemplo 1	0,3
Ejemplo 5	0,21

15

[Tabla 7]

	CO/CO ref
Ejemplo 1	0,90
Ejemplo 5	0,73

20 Tal como resulta evidente a partir de la Tabla 6, en el Ejemplo 5, la concentración de NO_x se reduce adicionalmente en comparación con el Ejemplo 1. Tal como resulta evidente a partir de la Tabla 7, la concentración de CO se reduce adicionalmente en comparación con el Ejemplo 1.

Ejemplo 6

25 A continuación, en el Ejemplo 6, se desplazaron cuatro quemadores en cada lado en fase en $\pi/2$ en funcionamiento, y se examinó el efecto de reducción de la concentración de NO_x . Específicamente, como en el Ejemplo 1, todos los quemadores 2 se fijaron para presentar la misma forma de onda, intervalo de fluctuación y frecuencia de cada una de la proporción de oxígeno y la concentración de oxígeno. Tal como se muestra en la fig. 6, se llevó a cabo la combustión de manera que la diferencia de fase entre el ciclo de oscilación de cuatro quemadores 2 dispuestos en cada una de la pared lateral 1a y la pared lateral 1b y el ciclo de oscilación de los quemadores 2 contiguos se fijó en ' $\pi/2$ '. El ciclo de oscilación de cada quemador 2 se desplazó en fase en π respecto al ciclo de oscilación del quemador 2 enfrenteado.

30 En la medición de la concentración de NO_x , se encontró que NO_x/NO_x (ref.) era de 0,3, que era el mismo nivel que en el Ejemplo 1. En el Ejemplo 6, en la medición de intervalo de fluctuación de la presión en el horno, se encontró que el intervalo de fluctuación era de -1 a +1 mmAq, que suprime las fluctuaciones de presión al mismo nivel que en el caso de la combustión estacionaria.

Aplicabilidad industrial

40 La presente invención puede proporcionar un método y dispositivo de combustión de un quemador que resulta de valor práctico y que muestra el efecto de reducir el nivel de NO_x .

Lista de signos de referencia

- 1 Horno
- 1a, 1b Pared lateral
- 2, 2a, 2b, 2a1, 2a2, 2a3, 2b1, 2b2, 2b3 Quemador
- 3, 3a, 3b Llama de combustión
- 14a, 14b, 24, 24a, 24b, 34, 34a, 34b, 44, 44a, 44b, 54, 54a, 54b Red de quemadores
- 5 Tubería de suministro de combustible
- 6 Tubería de suministro de líquido oxidante
- 7 Tubería de suministro de oxígeno
- 8 Tubería de suministro de aire
- 9 Sensor de temperatura
- 10 Conducto de gas
- 11 Dispositivo de medición continua de concentración de gas de escape (NO_x , CO, CO_2 , O_2)
- 12 Unidad de almacenamiento de datos
- 13 Sistema de control
- 14 Unidad de control
- 15 Combustión oscilante

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de combustión de quemador en el que por lo menos dos quemadores (2) se disponen enfrentados uno a otro en un horno (1) de manera que causen combustión, comprendiendo el método:

10 modificar cíclicamente por lo menos uno de entre un caudal de un líquido combustible y un caudal de un líquido oxidante suministrados a los quemadores respectivos, a la vez que se modifica cíclicamente la concentración de oxígeno en el líquido oxidante, modificando cíclicamente de esta manera la proporción de oxígeno obtenida mediante la división entre la cantidad de oxígeno suministrada y la cantidad de oxígeno teóricamente necesaria, de manera que se provoca que los quemadores causen combustión en un estado de oscilación cíclica, en la que:

15 con respecto al cambio cíclico del estado de oscilación de los quemadores, se proporciona una diferencia de fases entre un cambio cíclico en un estado de oscilación de por lo menos un quemador y cambios cíclicos en los estados de oscilación de otros quemadores.
- 20 2. Método de combustión de quemador según la reivindicación 1, en el que se proporciona una diferencia de fase entre el cambio cíclico de caudal del líquido combustible suministrado a cada quemador y el cambio cíclico de concentración de oxígeno y de proporción de oxígeno.
- 25 3. Método de combustión de quemador según la reivindicación 1 o 2, en el que la frecuencia del cambio cíclico de la proporción de oxígeno sea de 20 Hz o inferior.
4. Método de combustión de quemador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la frecuencia del cambio cíclico en la proporción de oxígeno es de 0,02 Hz o superior.
- 30 5. Método de combustión de quemador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la diferencia entre el límite superior y el límite inferior de la proporción de oxígeno modificada cíclicamente es de 0,2 o superior, y el valor medio de la proporción de oxígeno por ciclo es de 1,0 o superior.
- 35 6. Método de combustión de quemador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que todos los quemadores están sincronizados en términos de por lo menos uno de cambio cíclico de la proporción de oxígeno y cambio cíclico de la concentración de oxígeno, causando de esta manera la combustión.
- 40 7. Método de combustión de quemador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la diferencia de fase del cambio cíclico entre los estados de oscilación de los quemadores dispuestos uno frente a otros es de π .
- 45 8. Método de combustión de quemador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que, al llevar a cabo la combustión utilizando una red de quemadores que incluye uno o más quemadores, se disponen dos o más pares de redes de quemadores en una pared lateral (1a, 1b) del horno, y una diferencia de fase entre el cambio cíclico del estado de oscilación del quemador que forma cada red de quemadores y el cambio cíclico del estado de oscilación del quemador que forma otra red de quemadores dispuesta contiguamente a la red de quemadores es de π .
- 50 9. Método de combustión de quemador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que, al llevar a cabo la combustión utilizando una red de quemadores que incluye uno o más quemadores, las paredes laterales (1a, 1b) del horno están enfrentadas unas a otras, y n pares de redes de quemadores están dispuestos en una pared lateral y la diferencia de fase entre el cambio cíclico del estado de oscilación del quemador que forma cada red de quemadores y el cambio cíclico del estado de oscilación del quemador que forma otra red de quemadores dispuesto contiguamente a la red de quemadores es de $2\pi/n$.
- 55 10. Método de combustión de quemador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que se proporciona una diferencia de fase entre el cambio cíclico de un estado de oscilación de por lo menos un quemador y el cambio cíclico de un estado de oscilación de otro quemador, manteniendo constante de esta manera la presión dentro del horno.
- 60 11. Dispositivo de combustión de un quemador en el que se disponen por lo menos dos quemadores (2) enfrentados entre sí en un horno (1) de manera que causan combustión, caracterizado porque:

65 el dispositivo de combustión está adaptado para modificar cíclicamente por lo menos uno de entre el caudal de un líquido combustible y el caudal de un líquido oxidante suministrado a los quemadores respectivos, a la vez que se modifica cíclicamente la concentración de oxígeno en el líquido oxidante, modificando cíclicamente de esta manera la proporción de oxígeno obtenida mediante la división de la cantidad de oxígeno suministrada por la cantidad de oxígeno teóricamente necesaria, de manera que se provoca que los quemadores causen combustión en un estado de oscilación cíclica, y

con respecto al cambio cíclico del estado de oscilación de los quemadores, se proporciona una diferencia de fases entre un cambio cíclico en un estado de oscilación de por lo menos un quemador y cambios cíclicos en los estados de oscilación de otros quemadores.

- 5 12. Dispositivo de combustión de un quemador según la reivindicación 11, en el que el dispositivo de combustión incluye una tubería de suministro de combustible (5) para suministrar el combustible, una tubería de suministro de oxígeno (7) para suministrar oxígeno y una tubería de suministro de aire (8) para suministrar aire, y el oxígeno y aire suministrados forman el oxidante, y el dispositivo de combustión incluye medios de oscilación forzada para hacer oscilar forzosamente los flujos de combustible, oxígeno y aire suministrados por las tuberías respectivas.
- 10
13. Dispositivo de combustión de un quemador según la reivindicación 12, en el que un detector para medir el estado de la atmósfera del horno se dispone en el horno y el dispositivo de combustión incluye un sistema de control (13) para modificar el caudal de líquido combustible o de líquido oxidante, o el ciclo de la oscilación forzada, basándose en datos detectados por el detector.
- 15

FIG. 1

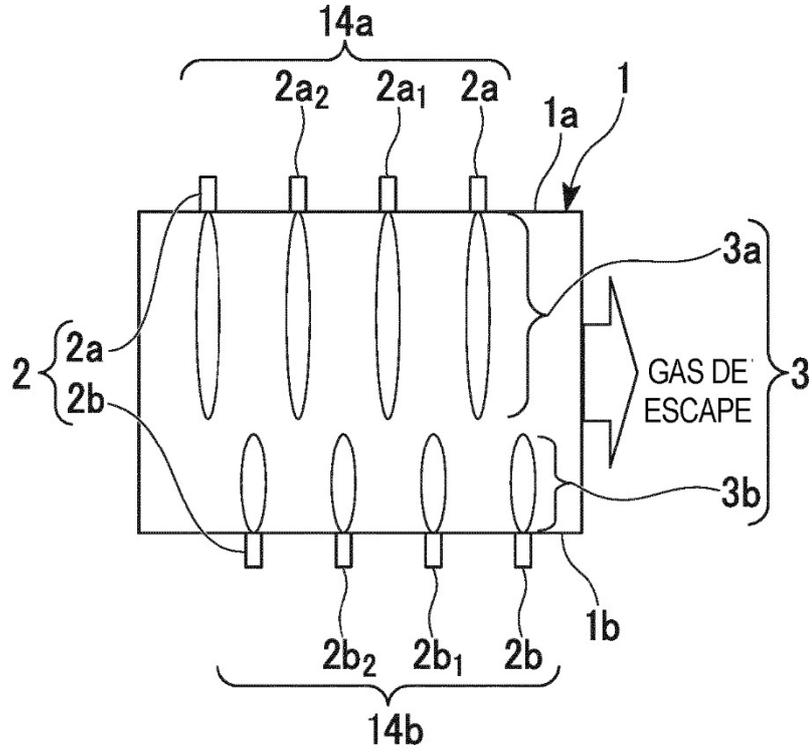


FIG. 2

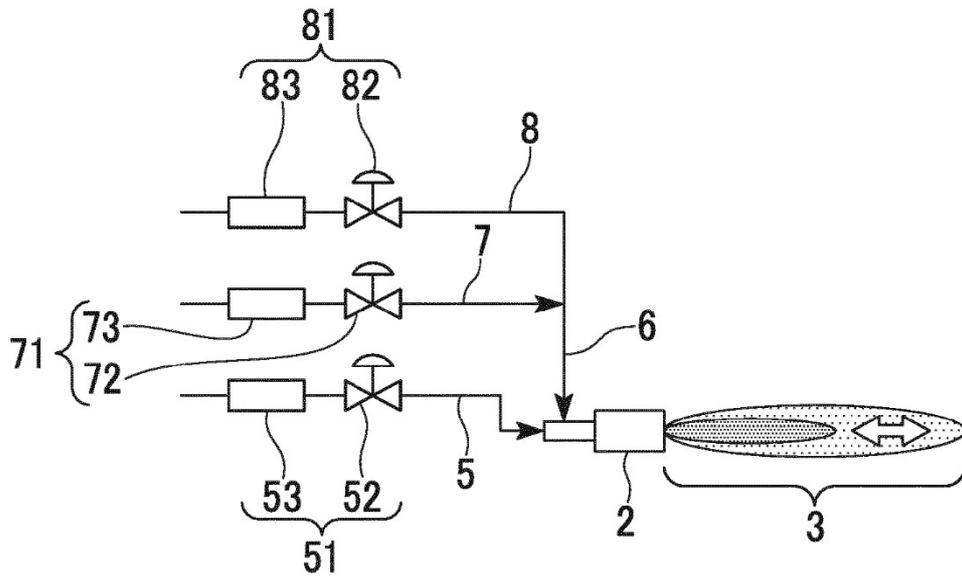


FIG. 3

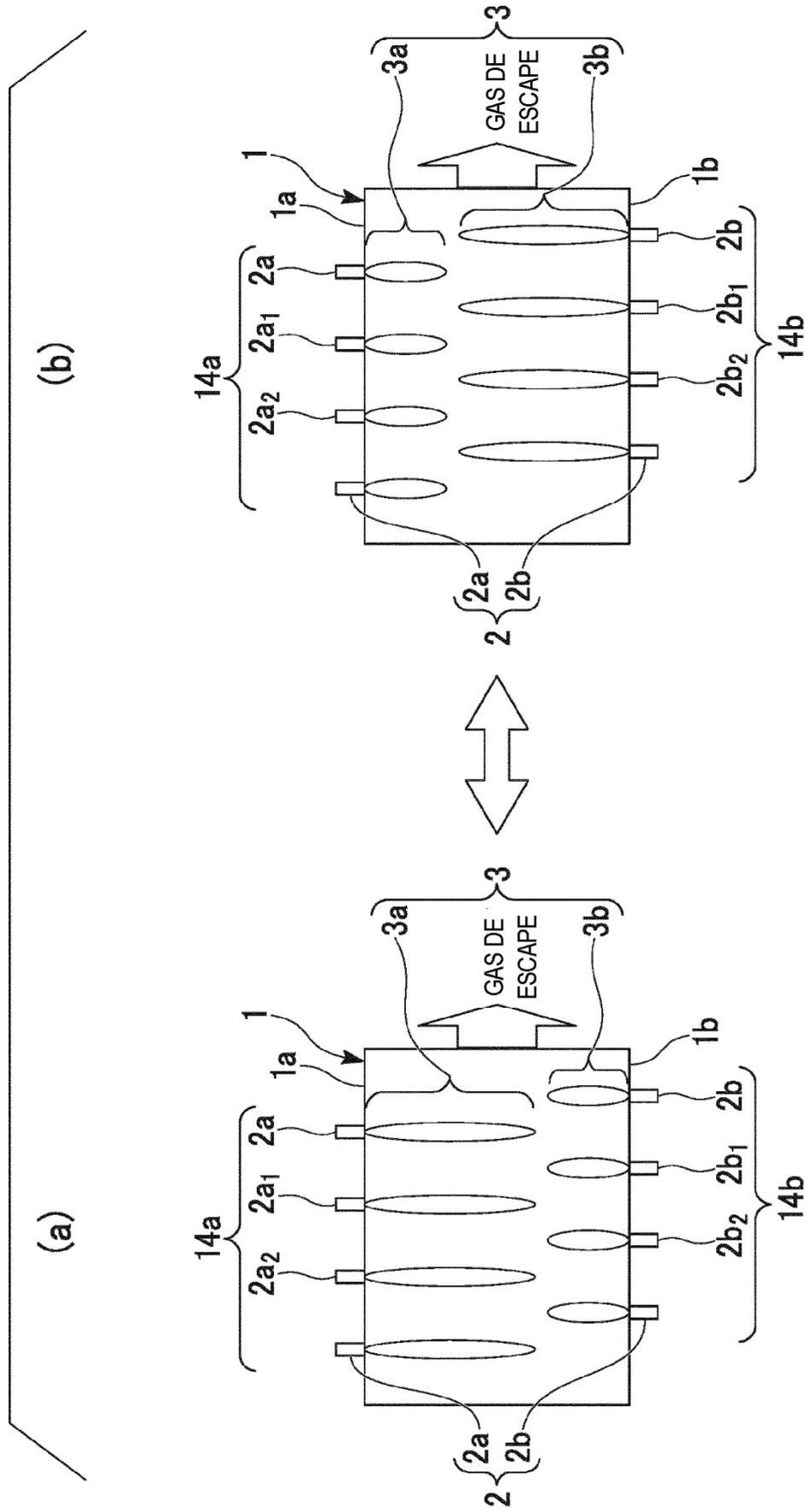


FIG. 4

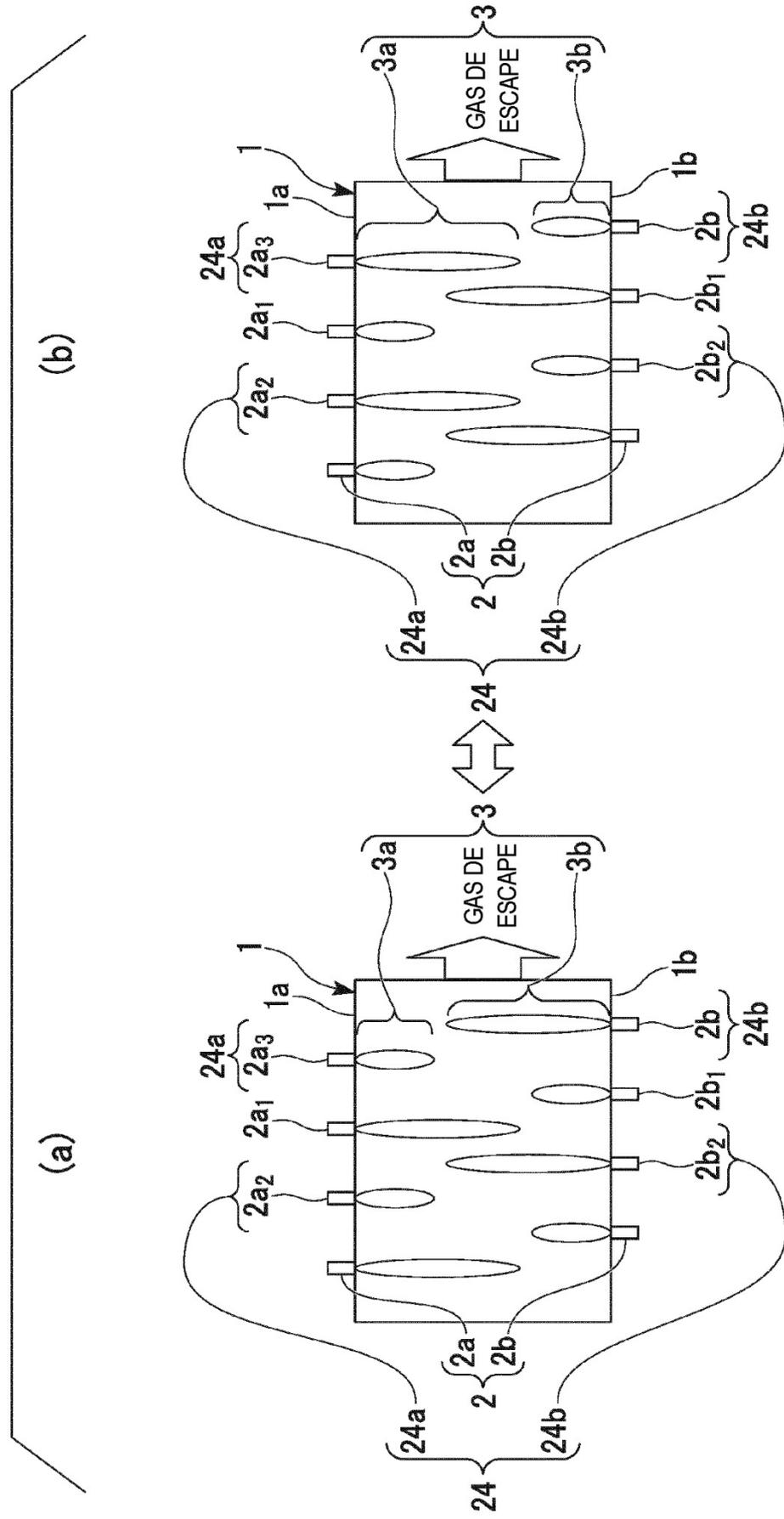


FIG. 5

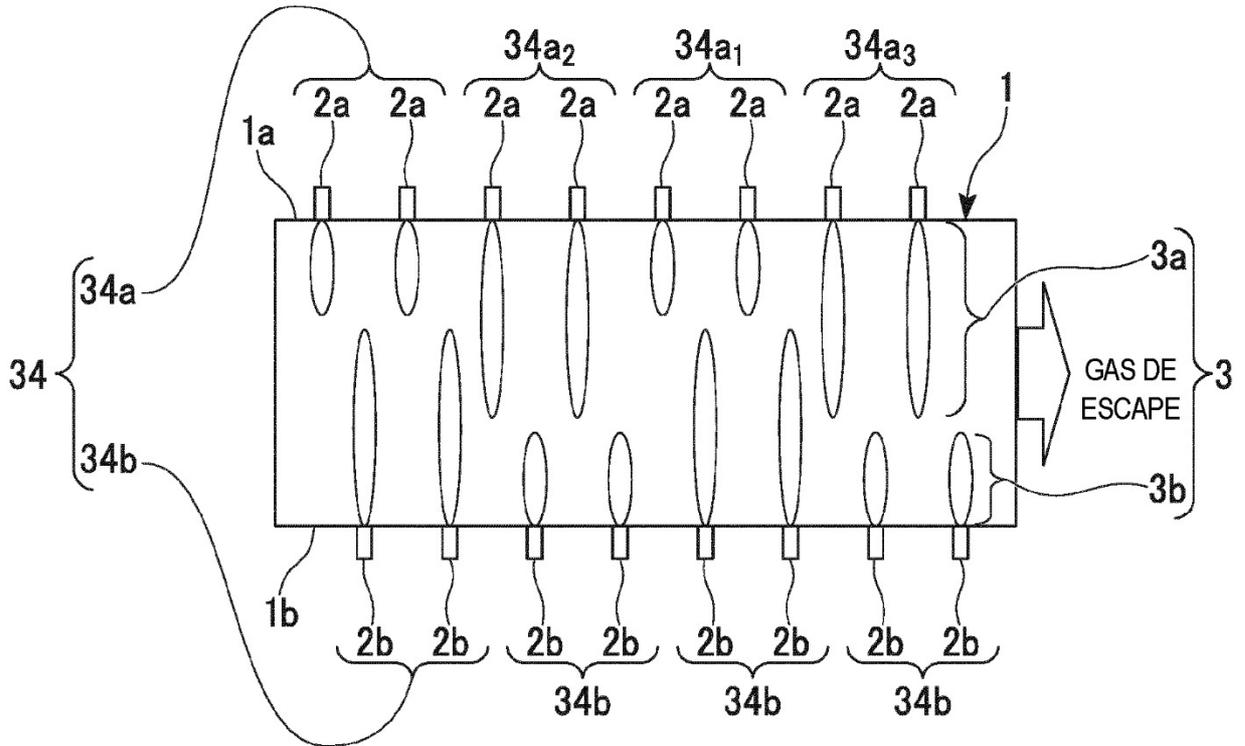


FIG. 6

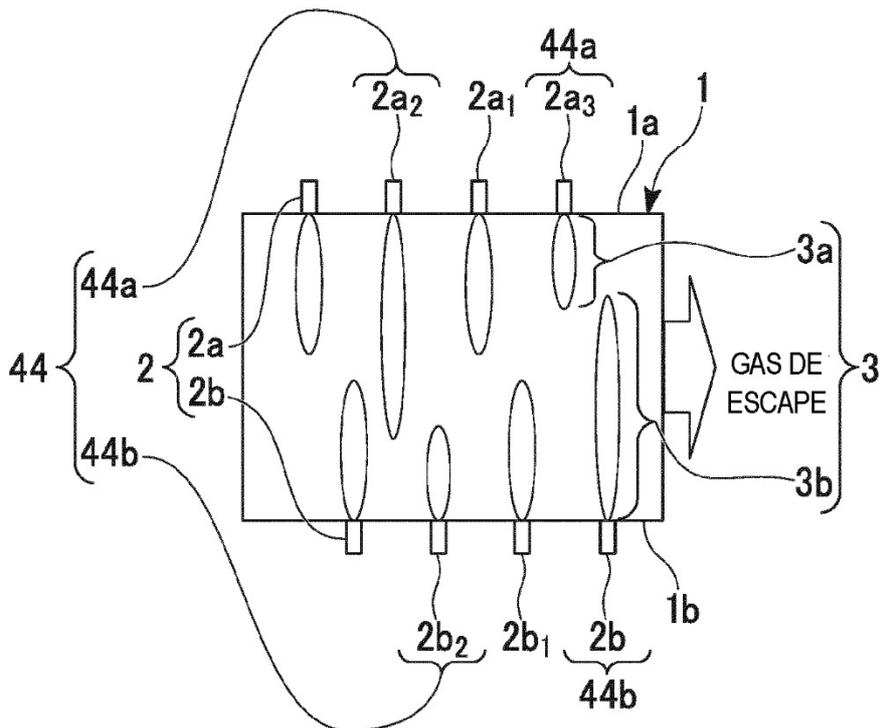


FIG. 7

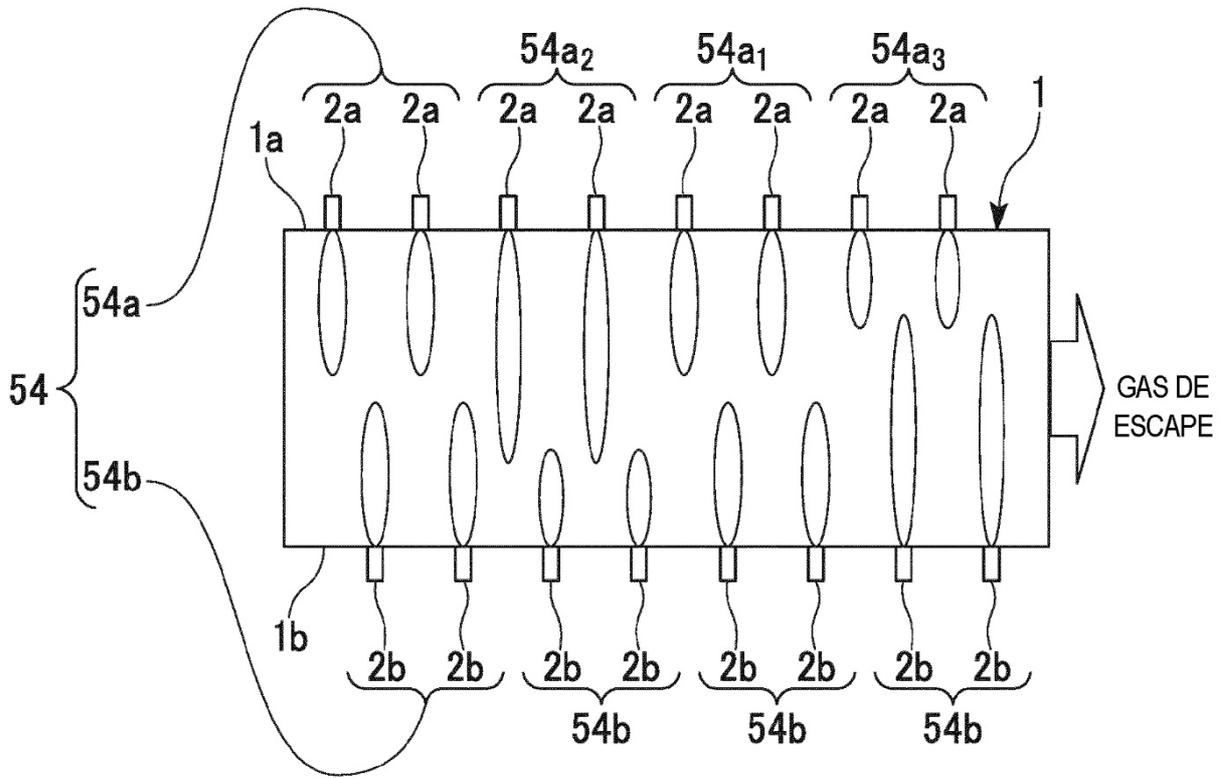


FIG. 8

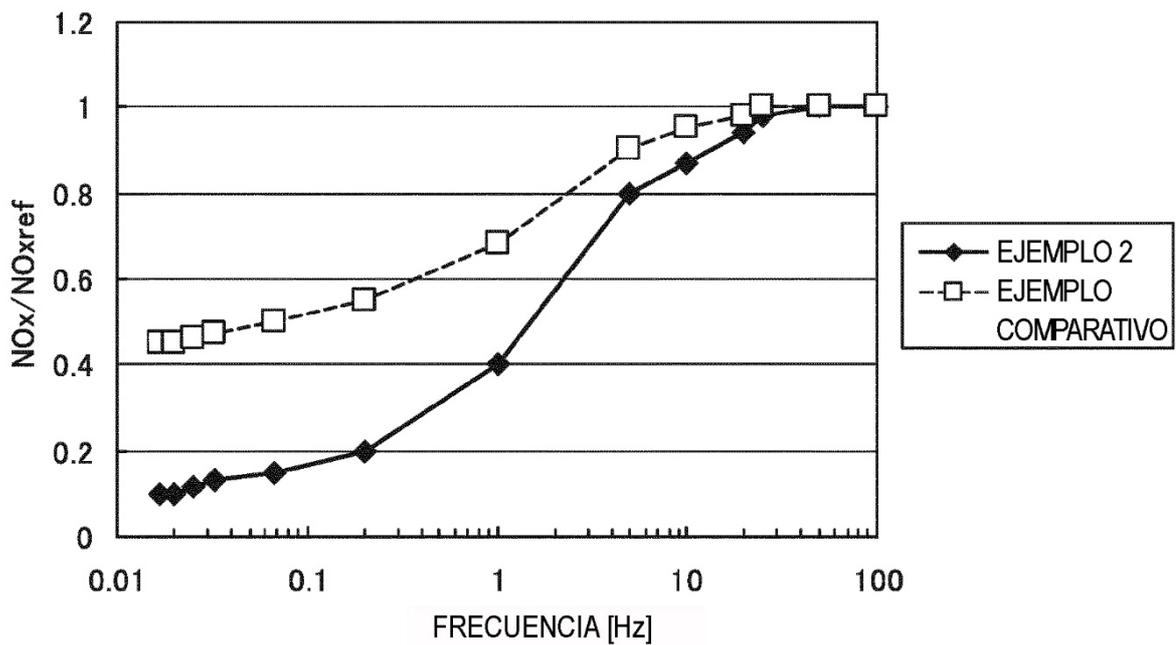


FIG. 9

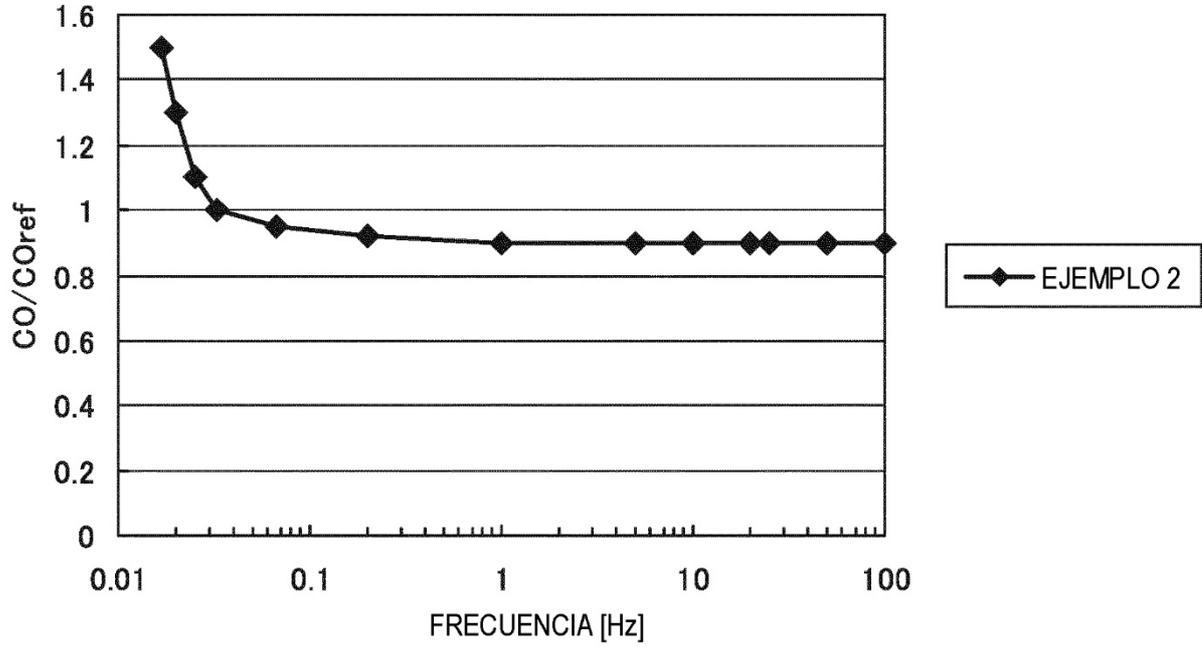


FIG. 10

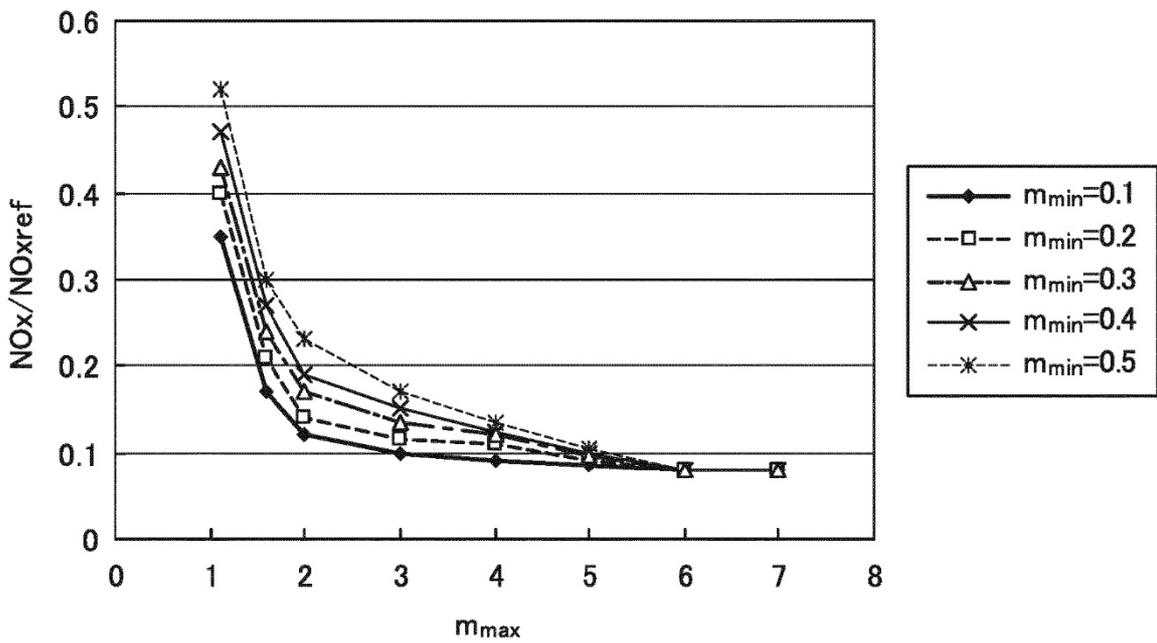


FIG. 11

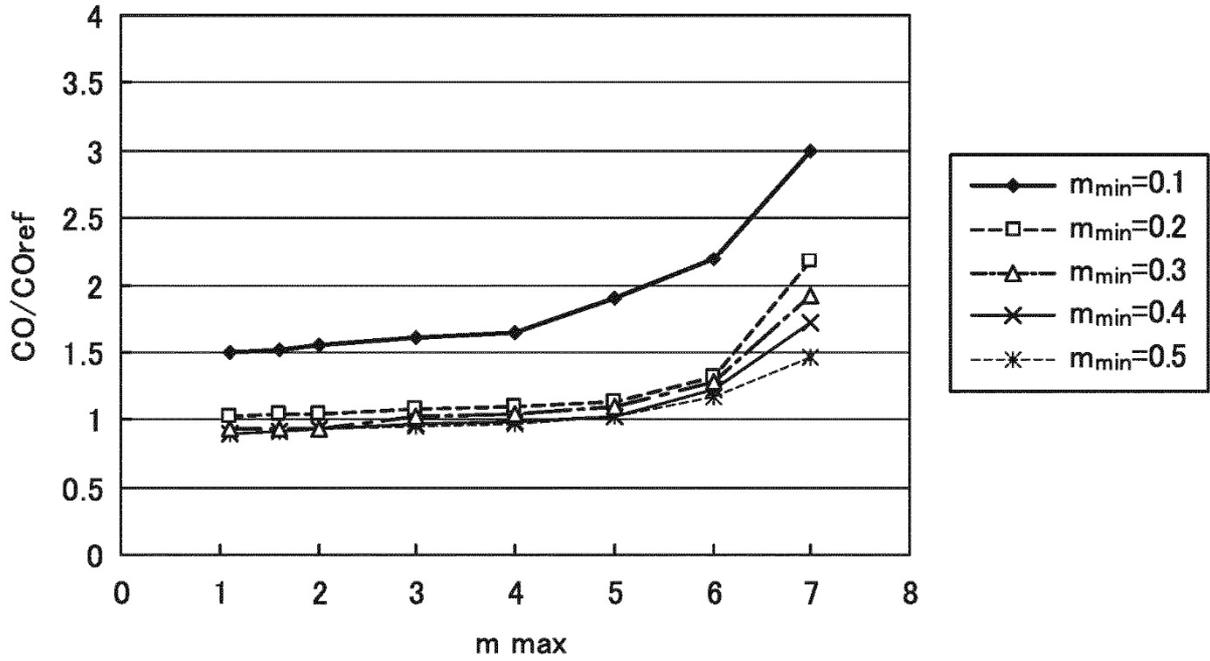


FIG. 12

